

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-289082

(43)Date of publication of application : 10.10.2003

(51)Int.Cl.

H01L 21/338  
H01L 21/06  
H01L 21/822  
H01L 21/8232  
H01L 27/04  
H01L 27/095  
H01L 29/778  
H01L 29/812

(21)Application number : 2002-091734

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 28.03.2002

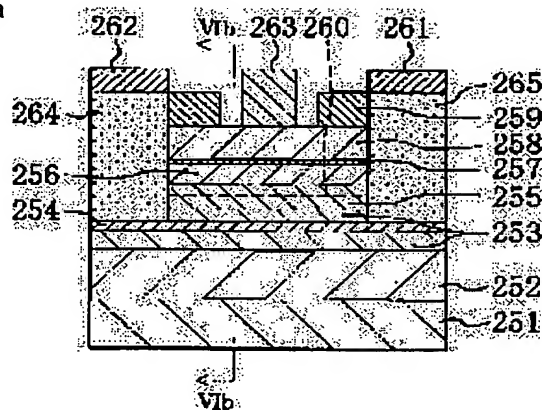
(72)Inventor : SUZUKI CHIYOUJITSURIYO  
YOKOGAWA TOSHIYA  
DEGUCHI MASAHIRO  
YOSHII SHIGEO  
FURUYA HIROYUKI

## (54) SEMICONDUCTOR DEVICE FOR COMMUNICATION EQUIPMENT AND EQUIPMENT FOR COMMUNICATION SYSTEM

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor device for communication equipment that is improved in high-frequency characteristic by suppressing ionization by accelerated impulse and the transition of carriers to a higher quantum level in a channel layer and, in addition, in withstand voltage and electrical characteristics.

SOLUTION: This semiconductor device for communication equipment is provided with an InAlAs buffer layer 252, an InGaAs second channel layer 253 in which an InGaAlAs channel inserting layer 254 is embedded, and an InGaAsN first channel layer 255. This device is also provided with an InAlAs spacer layer 256, an impurity-doped layer 257, and a barrier layer 258. In addition, this device is also provided with a gate electrode 263 and source and drain electrodes 262 and 261 provided on both sides of the gate electrode 263. Since the quantum level in the second channel layer 253 is adjusted, the ionization by accelerated impulse and the transition of carriers to a higher quantum level in the channel layer 253 is suppressed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-289082

(P2003-289082A)

(43) 公開日 平成15年10月10日 (2003. 10. 10)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号    | F I           | テームコード*(参考) |
|---------------------------|---------|---------------|-------------|
| H 0 1 L                   | 21/338  | H 0 1 L 29/80 | H 5 F 0 3 8 |
|                           | 21/06   |               | E 5 F 1 0 2 |
|                           | 21/822  | 27/06         | F           |
|                           | 21/8232 | 27/04         | F           |
|                           | 27/04   |               |             |

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 19 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-91734(P2002-91734)

(22) 出願日 平成14年3月28日 (2002. 3. 28)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 鈴木 朝実良

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 横川 俊哉

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74) 代理人 100077931

弁理士 前田 弘 (外7名)

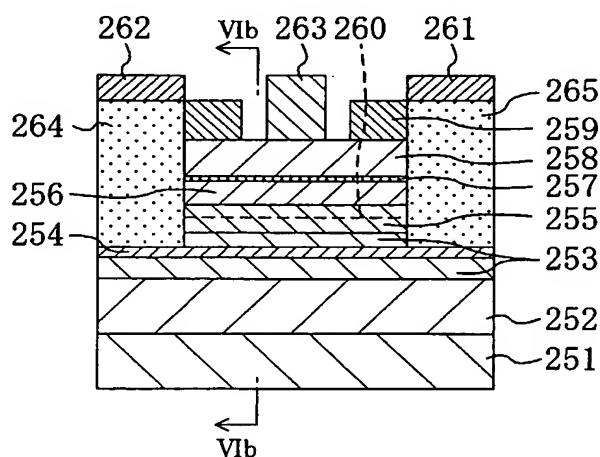
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 通信機器用半導体装置及び通信システム用機器

## (57) 【要約】

【課題】 チャネル層における衝突イオン化及びキャリアの高い量子準位への遷移を抑制することにより、優れた高周波特性を有し、且つ耐圧性及び電気的特性の安定性を向上させた通信機器用半導体装置を提供する。

【解決手段】 通信機器用半導体装置は、I n P基板251の上に順に設けられたI n A l A sからなるバッファ層252、I n G a A l A sからなるチャネル内挿入層254が埋め込まれたI n G a A sからなる第2チャネル層253、I n G a A s Nからなる第1チャネル層255、I n A l A sからなるスペーサ層256、不純物添加層257、バリア層258、ゲート電極263と、ゲート電極263の両側方に設けられたソース電極262及びドレイン電極261とを備えている。これにより、第2チャネル層における量子準位が調節されるので、衝突イオン化及びキャリアの高い量子準位への遷移が抑制される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の半導体層と、

上記第 1 の半導体層の上に設けられ、上記第 1 の半導体層よりも伝導帯端のポテンシャルが低い第 2 の半導体層と、

上記第 2 の半導体層の上に設けられ、伝導帯端のポテンシャルが上記第 2 の半導体層の伝導帯端のポテンシャル及び上記第 2 の量子準位よりも高い第 4 の半導体層と、  
上記第 2 の半導体層の内部に設けられ、上記第 2 の半導体層のうち上記第 4 の半導体層との界面付近の伝導帯側量子井戸構造における基底レベルの第 1 の量子準位とその直上レベルの第 2 の量子準位との間隔を調節するための第 3 の半導体層とを備え、

上記第 2 の半導体層のうち少なくとも一部は、InGaAs から構成されることを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第 3 の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第 2 の半導体層のうち上記第 3 の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも高く、

上記第 3 の半導体層は、少なくとも上記第 2 の量子準位の高さを調節するために設けられることを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第 2 の量子準位は、上記第 2 の半導体層のうち上記第 4 の半導体層と上記第 3 の半導体層とに挟まれた領域の、上記第 3 の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも高く、

上記第 1 の量子準位は、上記第 2 の半導体層のうち上記第 4 の半導体層と上記第 3 の半導体層とに挟まれた領域の、上記第 3 の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 4】 請求項 2 または 3 のうちいずれか 1 つに記載の通信機器用半導体装置において、

上記第 3 の半導体層は、In, Ga, Al のうちから選ばれた少なくとも 1 つの III 属元素と N, As, P, Sb のうちから選ばれた少なくとも 1 つの V 属元素との化合物から構成されることを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第 3 の半導体層は、InP, InGaAs, InGaAsP, InGaAsPN, InGaAlAs 及び AlGaAsSb のうちから選ばれたいずれか 1 つの材料から構成されることを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 6】 請求項 2 ～ 5 のうちいずれか 1 つに記載

の通信機器用半導体装置において、

上記第 2 の半導体層のうち上記第 4 の半導体層と上記第 3 の半導体層とに挟まれた領域には第 5 の半導体層がさらに設けられており、

第 5 の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第 5 の半導体層を除く上記第 2 の半導体層のうち上記第 3 の半導体層と上記第 4 の半導体層とに挟まれた領域の伝導帯端のポテンシャルよりも低いことを特徴とする通信機器用半導体装置。

10 【請求項 7】 請求項 6 に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第 1 の量子準位は、上記第 5 の半導体層の伝導帯端のポテンシャルのうち最大のものよりも低いことを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 8】 請求項 6 または 7 に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第 5 の半導体層は、InGaAs, InGaAsN 及び InGaAsPN のうちから選ばれたいずれか 1 つの材料から構成されることを特徴とする通信システム用半導体装置。

20 【請求項 9】 請求項 1 に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第 3 の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第 2 の半導体層のうち上記第 3 の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも低く、

上記第 3 の半導体層は、少なくとも上記第 1 の量子準位の高さを調節するために設けられることを特徴とする通信機器用半導体装置。

30 【請求項 10】 請求項 9 に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第 1 の量子準位は、上記第 3 の半導体層のうち上記第 2 の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 11】 請求項 9 または 10 に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第 3 の半導体層は、In, Ga, Al のうちから選ばれた少なくとも 1 つの III 属元素と N, As, P, Sb のうちから選ばれた少なくとも 1 つの V 属元素との化合物から構成されることを特徴とする通信機器用半導体装置。

40 【請求項 12】 請求項 11 に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第 3 の半導体層は、InGaAs, InGaAsN 及び InGaAsPN のうちから選ばれたいずれか 1 つの材料から構成されることを特徴とする通信システム用半導体装置。

【請求項 13】 高周波信号を扱う通信システムに配置され、能動素子を有する通信システム用機器であって、  
第 1 の半導体層と、

上記第 1 の半導体層の上に設けられ、上記第 1 の半導体

層よりも伝導帯端のポテンシャルが低い第2の半導体層と、

上記第2の半導体層の上に設けられ、伝導帯端のポテンシャルが上記第2の半導体層の伝導帯端のポテンシャル及び上記第2の量子準位よりも高い第4の半導体層と、上記第2の半導体層の内部に設けられ、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層との界面付近の伝導帯側量子井戸構造における基底レベルの第1の量子準位とその直上レベルの第2の量子準位との間隔を調節するための第3の半導体層とを備え、

上記第2の半導体層のうち少なくとも一部は、InGaAsから構成されることを特徴とする通信システム用機器。

【請求項14】 請求項13に記載の通信システム用機器において、

上記第3の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも高く、

上記第3の半導体層は、少なくとも上記第2の量子準位の高さを調節するために設けられることを特徴とする通信システム用機器。

【請求項15】 請求項13または14に記載の通信システム用機器において、

上記第2の量子準位は、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域の、上記第3の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも高く、

上記第1の量子準位は、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域の、上記第3の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことを特徴とする通信システム用機器。

【請求項16】 請求項14または15に記載の通信システム用機器において、

上記第3の半導体層は、InP、InGaAs、InGaAsP、InGaAsPN、InGaAlAs及びAlGaAsSbのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることを特徴とする通信システム用機器。

【請求項17】 請求項13～16のうちいずれか1つに記載の通信システム用機器において、

上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域には第5の半導体層がさらに設けられており、

第5の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第5の半導体層を除く上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層と上記第4の半導体層とに挟まれた領域の伝導帯端のポテンシャルよりも低いことを特徴とする通信システム用機器。

【請求項18】 請求項17に記載の通信システム用機器において、

上記第1の量子準位は、上記第5の半導体層の伝導帯端のポテンシャルのうち最大のものよりも低いことを特徴とする通信システム用機器。

【請求項19】 請求項17または18に記載の通信システム用機器において、

上記第5の半導体層は、InGaAs、InGaAsN及びInGaAsPNのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることを特徴とする通信システム用機器。

10 【請求項20】 請求項13に記載の通信システム用機器において、

上記第3の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも低く、

上記第3の半導体層は、少なくとも上記第1の量子準位の高さを調節するために設けられることを特徴とする通信システム用機器。

【請求項21】 請求項20に記載の通信システム用機器において、

20 上記第1の量子準位は、上記第3の半導体層のうち上記第2の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことを特徴とする通信システム用機器。

【請求項22】 請求項20または21に記載の通信システム用機器において、

上記第3の半導体層は、InGaAs、InGaAsN及びInGaAsPNのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることを特徴とする

【発明の詳細な説明】

【0001】

30 【発明の属する技術分野】本発明は、通信機器用半導体装置及びこれを用いた通信システム用機器に関し、特にヘテロ接合電界効果型トランジスタ及びこれを用いた通信システム用機器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、高周波特性、発光特性、耐圧特性など特定の優れた機能を有する半導体デバイスを実現するために、新しい半導体材料や半絶縁材料の開発が活発に行われている。半導体材料の中でもインジウム燐（InP）系半導体は、代表的な半導体材料である珪素（Si）に比べて電子移動度や飽和電子速度が大きい半導体であることから、次世代の高周波デバイス、高温デバイスなどへの応用が期待される材料である。そして、携帯電話や携帯情報端末（PDA）の他、家庭やオフィスの機器などをネットワーク化する、高周波を用いた通信システムへの応用は、InP材料の用途として非常に有望である。

50 【0003】InPを用いたデバイスの1つとして、InP基板に格子整合するInAlAs（インジウム・アルミニウム・ヒ素）／InGaAs（インジウム・ガリウム・ヒ素）ヘテロ接合を用いたヘテロ接合電界効果型

トランジスタ（以下、HFETと称す）がある。このHFETの高性能化は従来より進められており、集積回路に応用するための研究も盛んに行われている。

【0004】図15は、従来の代表的なHFET（以下、「従来のHFET」と称す）の構造を示す断面図である。同図に示すように、従来のHFETは、半絶縁性のInP基板901と、InP基板901上に設けられたアンドープのInAlAsからなる厚さ200nmのバッファ層902と、バッファ層902上に設けられたアンドープのInGaAsからなる厚さ15nmのチャネル層903と、チャネル層903の上に設けられたアンドープのInAlAsからなる厚さ2nmのスペーサ層904と、スペーサ層904の上に例えば共蒸着により設けられた面密度 $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ のSiを含む原子層ドーピング面からなる不純物添加層905と、不純物添加層905の上に設けられたアンドープのInAlAsからなる厚さ15nmのバリア層906と、バリア層906の上に設けられたゲート電極911と、バリア層906の上のゲート電極911の両側方に設けられた $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のSiを含むn型InGaAsからなるキャップ層907と、チャネル層903、スペーサ層904、不純物添加層905、バリア層906及びキャップ層907の一部にSiをイオン注入することにより設けられたソース領域912及びドレイン領域913と、ソース領域912上に設けられたソース電極910と、ドレイン領域913の上に設けられたドレイン電極909とを備えている。また、バッファ層902、チャネル層903、スペーサ層904、バリア層906及びキャップ層907はそれぞれ分子線エピタキシー（MBE）法や化学気相成長（CVD）法などにより堆積された層であり、InP基板901に格子整合している。なお、ドレイン電極909及びソース電極910は共にAuGe/Ni等からなっており、ドレイン領域913とソース領域912とそれぞれオーミック接触している。

【0005】次に、図2（a）は、図15に示すIIa-I Ia線における従来のHFETのエネルギーバンド図である。同図は、HFETの駆動時におけるエネルギーバンド図である。ここでは、図の簡略化のために、バリア層906からチャネル層903までの伝導帯のエネルギーバンドのみを示す。

【0006】図2（a）に示すように、従来のHFETにおいて、スペーサ層904の伝導帯端のポテンシャルはチャネル層903の伝導帯のポテンシャルよりも高くなっており、スペーサ層904とチャネル層903の伝導帯側にはエネルギー障壁（バンド不連続）が存在する。ここで示す従来のHFETの場合、このバンド不連続量は、0.55eVである。

【0007】従来のHFETにおいては、上述のような構造をとるために、キャリアとなる電子をチャネル領域中の狭い領域に閉じこめることができる。すなわち、キ

ャリアがチャネル層903とスペーサ層904との界面に蓄積し、散乱が抑制された状態でチャネル層903中を高速で移動する。こうして、バルク結晶中を走行する電子よりも移動度の大きい二次元電子ガス908が生じるため、従来のHFETでは、高速動作が可能になっている。

【0008】また、チャネル層903を形成するInGaAsにおいては、InAlAsなどと比較して電子の有効質量が小さいことによって、キャリアの移動度はより大きくなっている。

【0009】なお、従来のHFETにおいては、ゲート電極911に印加する電圧を調節することでチャネル層のバンド曲がりを調節できるので、二次元電子ガス908の濃度を変化させ、ソース電極ードレイン電極間を流れる電流を制御することも可能になっている。

【0010】このように、従来のHFETは、キャリア電子の移動度が大きく、高周波を利用した通信機器に要求される優れた高周波特性を有している。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のHFETは、高速動作時に耐圧性や電気的特性の安定性が低下することがあり、通信システム用機器に利用するには改善の余地が残されていた。

【0012】そこで、本願発明者らがHFETの耐圧性及び電気的特性を低下させる原因について検討した結果、以下のことが分かった。

【0013】HFETを高速動作させると、そのチャネル内で衝突イオン化が起これ、電子・ホール対が生成される。このうち電子は他のキャリア電子と同様にドレイン電極へと流れる。これに対し、生成したホールは、電子に比べて非常に速度が遅く、電子の動作には追従できない。このため、HFETの動作中にホールが滞留しやすく、雑音の発生要因となり易い。また、チャネル層903とバッファ層902との間には価電子帯においてもエネルギー障壁が存在するため、衝突イオン化によって生成されたホールはバッファ層902の方向に流れることができず、チャネル層903内に蓄積したままとなる。

【0014】衝突イオン化の頻度がさらに高くなると、チャネル層903内のホール濃度が増大し、一部のホールがゲート電極に流れ込んでゲートリーク電流を生じさせる。また、チャネル層903内に蓄積したホールはトランジスタ内のポテンシャル分布を変化させ、トランジスタのソース抵抗やしきい値電圧を変化させる。その結果、トランジスタの出力特性が不安定となる。すなわち、衝突イオン化の頻度が増加することによりホールの蓄積が生じやすくなり、その結果、トランジスタの耐圧は著しく低下する。

【0015】また、衝突イオン化が起こるまでのエネルギーを持っていないとしても、走行中のキャリアがある

10

20

30

40

50

程度の運動エネルギーを持ったときに、より上の準位へ遷移すると、キャリアの閉じこめが弱くなり、移動度が低下する。

【0016】以上の検討結果から、チャネル層における衝突イオン化を抑制するとともに、キャリアが高い量子準位に遷移しにくくすることにより、上述の不具合を改善できることが分かった。

【0017】本発明の目的は、衝突イオン化の発生とキャリアの高い量子準位への遷移とを抑制することにより、優れた高周波特性を示し、且つ耐圧性及び電気的特性の安定性を向上させた通信機器用半導体装置及びこれを用いた通信システム用機器を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明の通信機器用半導体装置は、第1の半導体層と、上記第1の半導体層の上に設けられ、上記第1の半導体層よりも伝導帯端のポテンシャルが低い第2の半導体層と、上記第2の半導体層の上に設けられ、伝導帯端のポテンシャルが上記第2の半導体層の伝導帯端のポテンシャル及び上記第2の量子準位よりも高い第4の半導体層と、上記第2の半導体層の内部に設けられ、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層との界面付近の伝導帯側量子井戸構造における基底レベルの第1の量子準位とその直上レベルの第2の量子準位との間隔を調節するための第3の半導体層とを備え、上記第2の半導体層のうち少なくとも一部は、InGaAsから構成されている。

【0019】この構成により、第3の半導体層の伝導帯端のポテンシャル及び第4の半導体層と第3の半導体層との距離を調節して第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を調節することが可能になる。例えば、第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広げるように第3の半導体層を設けることで、第2の半導体層において生じる衝突イオン化が抑制されるので、InGaAs層をチャネルとする従来のHFEETに比べて、ホールの発生及び蓄積が起こりにくくすることができる。その結果、耐圧性及び電気的特性の安定性を向上させることができる。また、キャリアを第2の量子準位に遷移しにくくすることができるため、キャリア移動度の低下を防ぐことができる。その一方で第1の量子準位はより強く閉じこめられた状態となっているため、キャリア移動度とキャリア濃度は高められ、優れた高周波特性を安定して発揮する通信機器用半導体装置が実現できる。

【0020】上記第3の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも高く、上記第3の半導体層は、少なくとも上記第2の量子準位の高さを調節するために設けられることにより、例えば、第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広げることができ、第2の半導体層において生じる衝突イオン化を抑制することができる。また、本発明の通信機器用半導体

装置の動作時には、キャリアが第2の量子準位に遷移しにくくなるため、二次元電子ガスの移動度を向上させることができる。

【0021】上記第2の量子準位は、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域の、上記第3の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも高く、上記第1の量子準位は、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域の、上記第3の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことにより、第3の半導体層と第4の半導体層との距離を調節することで、第2の量子準位の高さを選択的に調節することができる。この構成に従えば、例えば第3の半導体層と第4の半導体層との距離が小さくなるように第3の半導体層を設けることによって第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広げることができるので、キャリアが第1の量子準位から第2の量子準位へ遷移しにくくし、動作時に生じる二次元電子ガスの移動度を高めることができる。

【0022】上記第3の半導体層は、In, Ga, Alのうちから選ばれた少なくとも1つのIII属元素とN, As, P, Sbのうちから選ばれた少なくとも1つのV属元素との化合物から構成されることにより、高速動作が可能で、且つ高速動作時における耐圧性及び電気的特性の安定性が向上された通信機器用半導体装置を実現することができる。

【0023】上記第3の半導体層は、InP, InGaAs, InGaAsP, InGaAsPN, InGaAlAs及びAlGaAsSbのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることにより、本発明の通信機器用半導体装置は特に容易に実現される。

【0024】上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域には第5の半導体層がさらに設けられており、第5の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第5の半導体層を除く上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層と上記第4の半導体層とに挟まれた領域の伝導帯端のポテンシャルよりも低いことにより、第2の量子準位だけでなく第1の量子準位の高さをも調節することができる。例えば、第2の量子準位高さが高く、第1の量子準位の高さが低くなるように第3の半導体層及び第5の半導体層を設けた場合には、第1の量子準位と第2の量子準位との間隔をより効果的に広げることができ、第2の半導体層において生じる衝突イオン化が抑制されるので、InGaAs層をチャネルとする従来のHFEETに比べて、ホールの発生及び蓄積が起こりにくくすることができる。その結果、耐圧性及び電気的特性の安定性を向上させることができる。また、キャリアを第2の量子準位に遷移しにくくすることができるため、キャリア移動度の低下を防ぐことができる。その一方で第1の量子準位はより強く

閉じこめられた状態となっているため、キャリア移動度とキャリア濃度は高められ、優れた高周波特性を安定して発揮する通信機器用半導体装置が実現できる。

【0025】上記第1の量子準位は、上記第5の半導体層の伝導帯端のポテンシャルのうち最大のものよりも低いことにより、第5の半導体層の厚みを調節することで、第1の量子準位の高さを調節することが可能になる。例えば、第5の半導体層の厚みを広げることで、第1の量子準位をより低くすることができ、第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広げることができる。

【0026】上記第5の半導体層は、InGaAs、InGaAsN及びInGaAsPNのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることにより、本発明の通信機器用半導体装置は容易に実現される。

【0027】また、上記第3の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも低く、上記第3の半導体層は、少なくとも上記第1の量子準位の高さを調節するために設けられることにより、例えば、第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広げることができる。また、本発明の通信機器用半導体装置の動作時には、キャリアが第2の量子準位に遷移しにくくなるため、二次元電子ガスの移動度を向上させることができる。

【0028】上記第1の量子準位は、上記第3の半導体層のうち上記第2の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことにより、第1の量子準位の高さを選択的に調節することが可能になる。例えば、第1の量子準位の高さが低くなるように第3の半導体層を設けた場合には、第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広くすることができ、第2の半導体層において生じる衝突イオン化を抑制することができる。すなわち、InGaAs層をチャネルとする従来のHFETに比べて、ホールの発生及び蓄積が起こりにくくすることができ、その結果、耐圧性及び電気的特性の安定性を向上させることができる。また、この場合にはキャリアを第2の量子準位に遷移しにくくすることができるので、キャリア移動度を向上させることができる。

【0029】上記第3の半導体層は、In、Ga、Alのうちから選ばれた少なくとも1つのIII族元素とN、As、P、Sbのうちから選ばれた少なくとも1つのV族元素との化合物から構成されることが好ましい。

【0030】上記第3の半導体層は、InGaAs、InGaAsN及びInGaAsPNのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることが特に好ましい。

【0031】本発明の通信システム用機器は、高周波信号を扱う通信システムに配置され、能動素子を有する通信システム用機器であって、第1の半導体層と、上記第

1の半導体層の上に設けられ、上記第1の半導体層よりも伝導帯端のポテンシャルが低い第2の半導体層と、上記第2の半導体層の上に設けられ、伝導帯端のポテンシャルが上記第2の半導体層の伝導帯端のポテンシャル及び上記第2の量子準位よりも高い第4の半導体層と、上記第2の半導体層の内部に設けられ、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層との界面付近の伝導帯側量子井戸構造における基底レベルの第1の量子準位とその直上レベルの第2の量子準位との間隔を調節するための第3の半導体層とを備え、上記第2の半導体層のうち少なくとも一部は、InGaAsから構成されている。

【0032】これにより、第2の半導体層において生じる衝突イオン化が抑制されるので、InGaAs層をチャネルとする従来の通信システム用機器に用いられるHFETに比べて、動作時にホールの発生及び蓄積が起こりにくくなり、能動素子の耐圧性及び電気的特性の安定性を向上させることができる。また、キャリアが第2の量子状態に遷移しにくくなっているため、キャリア移動度の低下を防ぐことができ、能動素子は優れた高周波特性を安定して発揮することができる。その結果、能動素子を有する本発明の通信システム用機器の電気的特性の安定性の向上と高周波特性の改善とを図ることができる。

【0033】上記第3の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも高く、上記第3の半導体層は、少なくとも上記第2の量子準位の高さを調節するために設けられることにより、例えば、第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広げることができる。第2の半導体層において生じる衝突イオン化を抑制することができる。また、能動素子の動作時には、キャリアが第2の量子準位に遷移しにくくなるため、二次元電子ガスの移動度を向上させることができる。その結果、能動素子を有する本発明の通信システム用機器の電気的特性の安定性の向上と高周波特性の改善とを図ることができる。

【0034】上記第2の量子準位は、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域の、上記第3の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも高く、上記第1の量子準位は、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域の、上記第3の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことにより、第2の量子準位の高さを選択的に調節することが可能になるので、優れた高周波特性を安定して発揮する能動素子を実現することができ、ひいては本発明の通信システム用機器の電気的特性の安定性の向上と高周波特性の改善とを図ることができる。

【0035】上記第3の半導体層は、InP、InGaAs、InGaAsP、InGaAsPN、InGaA

10

20

30

40

50



1 As 及び AlGaAsSb のうちから選ばれたいずれか 1 つの材料から構成されることが好ましい。

【0036】上記第 2 の半導体層のうち上記第 4 の半導体層と上記第 3 の半導体層とに挟まれた領域には第 5 の半導体層がさらに設けられており、第 5 の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第 5 の半導体層を除く上記第 2 の半導体層のうち上記第 3 の半導体層と上記第 4 の半導体層とに挟まれた領域の伝導帯端のポテンシャルよりも低いことにより、さらに効果的に第 1 の量子準位と第 2 の量子準位との間隔を広くすることができる。

【0037】上記第 5 の半導体層は、InGaAs、InGaAsN 及び InGaAsPN のうちから選ばれたいずれか 1 つの材料から構成されることが好ましい。

【0038】上記第 3 の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第 2 の半導体層のうち上記第 3 の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも低く、上記第 3 の半導体層は、少なくとも上記第 1 の量子準位の高さを調節するために設けられることにより、例えば第 1 の量子準位の高さを低くするように調節することで第 1 の量子準位と第 2 の量子準位との間隔を広くすることができる。この結果、能動素子の電気的特性の安定化及び高周波特性の向上を図ることができ、ひいては該能動素子を有する本発明の通信システム用機器の電気的特性の安定化及び高周波特性の向上を図ることができる。

【0039】上記第 1 の量子準位は、上記第 3 の半導体層のうち上記第 2 の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことにより、第 1 の量子準位の高さを選択的に調節することが可能になる。

【0040】上記第 3 の半導体層は、InGaAs、InGaAsN 及び InGaAsPN のうちから選ばれたいずれか 1 つの材料から構成されることが好ましい。

【0041】

【発明の実施の形態】（第 1 の実施形態）本発明の第 1 の実施形態に係る通信機器用半導体装置について、図を用いて以下に説明する。

【0042】図 1 は、HFE T である本実施形態の通信機器用半導体装置を示す断面図である。同図に示すように本実施形態の通信機器用半導体装置は、半絶縁性の InP 基板 101 と、InP 基板 101 上に設けられたアンドープの InAlAs からなる厚さ 200 nm のバッファ層 102 と、バッファ層 102 上に設けられ、アンドープの InGaAs からなるチャネル層 103 と、チャネル層 103 の上に設けられたアンドープの InAlAs からなる厚さ 2 nm のスペーサ層 105 と、スペーサ層 105 の上に例えば共蒸着により設けられた面密度  $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  の Si を含む原子層ドーピング面からなる不純物添加層 106 と、不純物添加層 106 の上に設けられたアンドープの InAlAs からなる厚さ 15 nm のバリア層 107 と、バリア層 107 の上に設けられたゲート電極 112 と、バリア層 107 の上のゲート

電極 112 の両側方に設けられた  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の Si を含む n 型 InGaAs からなるコンタクト層 108 と、チャネル層 103、スペーサ層 105、不純物添加層 106、バリア層 107 及びコンタクト層 108 の一部に Si をイオン注入することにより設けられたソース領域 114 及びドレイン領域 115 と、ソース領域 114 上に設けられたソース電極 111 と、ドレイン領域 115 の上に設けられたドレイン電極 110 とを備えている。なお、ドレイン電極 110 及びソース電極 111 は共に AuGe/Ni 等からなっており、ドレイン領域 115 とソース領域 114 とそれぞれオーミック接触している。

【0043】また、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、駆動時にチャネル層 103 のうちスペーサ層 105 との界面付近にキャリアが蓄積し、二次元電子ガス 109 を生じる。このとき、電流はドレイン電極 110 から順にドレイン領域 115、二次元電子ガス 109、ソース領域 114、ソース電極 111 の経路を流れる。

【0044】本実施形態の通信機器用半導体装置が従来と異なる点は、チャネル層 103 が、その内部に厚さ 1 nm 以上 10 nm 以下の InGaAlAs からなるチャネル内挿入層 104 を有していることである。そして、駆動時には、チャネル層 103 のうちチャネル内挿入層 104 の上方に二次元電子ガス 109 が生じる。ここで、チャネル内挿入層 104 を含むチャネル層 103 の厚さは約 15 nm であって、チャネル内挿入層 104 とスペーサ層 105 との距離 d1 は、例えば 2 nm 以上 14 nm 以下である。また、バッファ層 102、チャネル内挿入層 104 及びチャネル層 103、スペーサ層 105、バリア層 107 及びコンタクト層 108 はそれぞれ分子線エピタキシー (MBE) 法や化学気相成長 (CVD) 法などにより堆積された層であり、InP 基板 101 に格子整合している。

【0045】次に、本実施形態の通信機器用半導体装置において、チャネル内挿入層 104 を設けたことによる効果について、図を用いて説明する。

【0046】図 2 (a)、(b) は、それぞれ図 15 の IIa-IIa 線断面における従来の HFE T のエネルギーバンド図、及び図 1 の IIb-IIb 線断面における本実施形態の通信機器用半導体装置のエネルギーバンド図である。図を簡略化するために、ここではバリア層からチャネル層までの伝導帯のみのエネルギーバンドを示している。

【0047】図 2 (a)、(b) に示すように、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、従来の HFE T と同様に、スペーサ層 105 の伝導帯端のポテンシャルはチャネル層 103 の伝導帯のポテンシャルよりも高くなっており、スペーサ層 105 とチャネル層 103 の伝導帯側にはエネルギー障壁 (バンド不連続) が存在する。本実施形態の通信機器用半導体装置の場合、このバ

10

20

30

40

50



ンド不連続量は、従来のHFEETとほぼ同じ0.55 eVである。

【0048】また、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、チャンネル内挿入層104の組成がInGaAlAsであるために、チャンネル層103を構成するInGaAsよりも伝導帯端のポテンシャルが高くなっており、チャンネル層103とチャンネル内挿入層104との間にも伝導帯側に約0.03 eV以上のバンド不連続が存在する。このため、チャンネル層103のうち、スペーサ層105とチャンネル内挿入層104との間の厚さd1の狭い領域にキャリアが閉じこめられることになり、キャリアの移動度を従来よりも向上させることができるようになる。これに加えて、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、キャリアが蓄積する層の厚みを薄くしているため、チャンネル層103のうちスペーサ層105-チャンネル内挿入層104間に形成される下位の量子準位E1'（基底レベルの量子準位）と上位の量子準位E2'との差が従来のHFEETにおける下位の量子準位E1と上位の量子準位E2との差よりも大きくなっている。そのため、キャリアが上位の量子準位E2'に遷移する確率が従来のHFEETよりも低くすることができ、キャリアを従来よりも強く量子準位E1'に閉じこめることができる。また、チャンネル内挿入層104の伝導帯端のポテンシャルを上位の量子準位E2'よりも高く設計することにより、キャリアを確実にチャンネル層103のうちスペーサ層105-チャンネル内挿入層104間に閉じこめることができる。これらにより、ソースドレイン間電圧が高くなっている状態でのFET動作においてもスペーサ層105-チャンネル内挿入層104間のチャンネル層103に生じる二次元電子ガス109の濃度及び移動度を高めることができる。また、チャンネル層103のバンドギャップ幅を変えずに衝突イオン化を抑制することができる。ここで、下位の量子準位E1'は、チャンネル層における基底レベルの量子準位であり、上位の量子準位E2'は、基底レベルの直上レベルの量子準位である。なお、本実施形態におけるチャンネル内挿入層104のバンドギャップ幅は0.8 eV以上である。

【0049】ここで、チャンネル内挿入層104とスペーサ層105との距離d1を調節することによって、下位の量子準位E1'及び上位の量子準位E2'の高さを調節することができる。特に、チャンネル内挿入層104の伝導帯端がE1'に重ならないよう低くなっていることを前提とすると、チャンネル内挿入層104とスペーサ層105との距離d1が小さくなるほど上位の量子準位E2'は高くなる。この際の下位の量子準位は距離d1の変動により大きく変動しないので、下位の量子準位E1'と上位の量子準位E2'との差を大きくすることができる。このときの上位の量子準位E2'と下位の量子準位E1'との間隔は、チャンネル内挿入層104を設け

ない場合のチャンネル層103における上位と下位の量子準位の間隔よりも広がっている。

【0050】また、上位の量子準位E2'がチャンネル層103の伝導帯端ポテンシャルよりも高く、チャンネル内挿入層104のうち少なくとも一部の伝導帯端よりも低くなるようにチャンネル内挿入層104を設けることにより、量子準位E2'をより大きく変動させることができる。

【0051】ただし、チャンネル内挿入層104とスペーサ層105との距離d1は、あまりに小さすぎると下位の量子準位E1'が発現できなくなるので、下位の量子準位E1'が発現でき、且つ上位の量子準位E2'がチャンネル内挿入層104の伝導帯端よりも低くなるような値であればよい。すなわち、d1は2 nm以上14 nm以下であることが好ましい。

【0052】また、チャンネル内挿入層の厚さd2は任意でよいが、本実施形態の場合には5 nm程度が適している。

【0053】以上のように、本実施形態の通信機器用半導体装置によれば、チャンネル内挿入層104を設けることで、駆動時にキャリアの遷移及び衝突イオン化を抑制し、二次元電子ガスの移動度を向上させることができるので、InP基板を用いた半導体装置本来の優れた高周波特性を引き出すことができる。これに加えて、本実施形態の通信機器用半導体装置は、従来のHFEETよりも耐圧が大きく、且つ特性が安定している。そのため、本実施形態の通信機器用半導体装置は、高周波を用いた通信システムに好ましく用いられる。

【0054】また、本実施形態の通信機器用半導体装置において、InP基板101上の各層はCVD法やMBE法により形成される。すなわち、Inの原料としてトリメチルインジウムまたはIn金属を、Al原料としてトリメチルアルミまたはAl金属を、Ga原料としてトリメチルガリウムまたはGa金属を、As原料としてAsH<sub>3</sub>またはAs金属を、P原料としてPH<sub>3</sub>またはP金属をそれぞれ用いて各層を成長させる。このように、従来のHFEETとほぼ同様の公知技術により容易に製造できることも利点の1つである。

【0055】なお、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、チャンネル層103内にチャンネル内挿入層104が埋め込まれていたが、チャンネル層103の下部全体をチャンネル内挿入層104としても、以上で説明した効果が得られる。

【0056】なお、本実施形態においては、バッファ層102、チャンネル層103及びチャンネル内挿入層104がInP基板101に格子整合する例を説明したが、必ずしも格子整合していなくてもよい。この場合にも、衝突イオン化を抑制するためには、チャンネル内挿入層104のバンドギャップ幅は0.77 eV以上とし、下位の量子準位E1'と上位の量子準位E2'との間隔を広

げるようにすればよい。InP基板上に格子整合する場合の方が信頼性は高くなるが、格子整合させずにチャンネル層103に歪みを加える方がキャリアの移動度を大きくできる場合がある。

【0057】また、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、チャンネル層103にキャリアを供給するための層として原子層ドーピング面からなる不純物添加層106を設けたが、これに代えて、厚さ2nm程度のアンドープInAlAs層と高濃度でSiなどのn型不純物を含む厚さ2nm程度のn型InAlAs層とを交互に繰り返し積層することにより形成されたInAlAs積層部を設けても効果に変わりはない。

【0058】なお、チャンネル内挿入層104がInP基板上101に格子整合する場合には、InGaAlAsの組成中、Inの組成が0.5以上0.55以下であるのが好ましい。

【0059】また、チャンネル内挿入層104は、伝導帯端のポテンシャルが上位の量子準位E2'以上であれば、In, Ga, Al等のIII族元素とN, As, P, Sb等のV族元素との任意の組み合わせによる化合物から構成されていてもよい。特に、チャンネル内挿入層104は、InP, InGaAs, InGaAsP, InGaAsPN, InGaAlAs及びAlGaAsSbのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることが好ましい。チャンネル内挿入層104の伝導帯ポテンシャルを変えることによって下位の量子準位E1'と上位の量子準位E2'との間隔を調節することができる。

【0060】なお、本実施形態においては、動作時にゲートバイアスを印加する通信機器用半導体装置について説明したが、ゲートバイアスを印加しない状態においても、チャンネル層内にチャンネル内挿入層を設けることにより、チャンネル層における上位の量子準位E2'の高さを主に調節することができ、下位の量子準位E1'と上位の量子準位E2'との間隔を調節することができる。また、このような量子井戸構造は、例えば半導体レーザーなどにも応用することが可能である。

【0061】(第2の実施形態) 本発明の第2の実施形態として、下位の量子準位E1'と上位の量子準位E2'とを第1の実施形態とは異なる構成で制御する通信機器用半導体装置について以下説明する。

【0062】図3は、本発明の第2の実施形態に係る通信機器用半導体装置を示す断面図である。同図に示すように、本実施形態の通信機器用半導体装置は、InP基板151と、InP基板151上に設けられたアンドープのInAlAsからなる厚さ200nmのバッファ層152と、バッファ層152上に設けられ、アンドープのInGaAsからなる厚さ10nm以上15nm以下の第2チャンネル層153と、第2チャンネル層153の上に設けられ、アンドープのInGaAsNからなる厚さ

7.5nmの第1チャンネル層154と、第1チャンネル層154の上に設けられたアンドープのInAlAsからなる厚さ2nmのスペーサ層155と、スペーサ層155の上に例えば共蒸着により設けられた面密度 $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ のSiを含む原子層ドーピング面からなる不純物添加層156と、不純物添加層156の上に設けられたアンドープのInAlAsからなる厚さ15nmのバリア層157と、バリア層157の上に設けられたゲート電極162と、ゲート電極162の両側方に設けられた $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のSiを含むn型InGaAsからなるコンタクト層158と、第1チャンネル層154、スペーサ層155、不純物添加層156、バリア層157及びコンタクト層158の一部にSiをイオン注入することにより設けられたソース領域164及びドレイン領域165と、ソース領域164上に設けられたソース電極161と、ドレイン領域165の上に設けられたドレイン電極160とを備えている。そして、ドレイン電極160及びソース電極161は共にAuGe/Ni等からなっており、ドレイン領域165及びソース領域164とそれぞれオーミック接触している。

【0063】また、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、駆動時に主に第1チャンネル層154のうちスペーサ層155との界面付近にキャリアが蓄積し、二次元電子ガス159を生じる。このとき、電流はドレイン電極160から順にドレイン領域165、二次元電子ガス159、ソース領域164、ソース電極161の経路を流れる。

【0064】また、バッファ層152、第2チャンネル層153及び第1チャンネル層154、スペーサ層155、バリア層157及びコンタクト層158はそれぞれ分子線エピタキシー(MBE)法や化学気相成長(CVD)法などにより堆積された層であり、InP基板151に格子整合している。

【0065】本実施形態の通信機器用半導体装置が従来のHFEETと異なる点は、従来のチャンネル層に相当するInGaAsからなる第2チャンネル層153とスペーサ層155との間にInGaAsNからなる第1チャンネル層154が挿入されていることである。この第1チャンネル層154を設けたことによる効果を図を用いて以下で説明する。

【0066】図4(a), (b)は、それぞれ図15のIIa-IIa線断面における従来のHFEETのエネルギーバンド図(図2(a)と同じ図)、及び図3のIVb-IVb線断面における本実施形態の通信機器用半導体装置のエネルギーバンド図である。

【0067】図4(a), (b)に示すように、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、スペーサ層155の伝導帯端のポテンシャルは第1チャンネル層154の伝導帯のポテンシャルよりも高くなっており、スペーサ層155と第1チャンネル層154の伝導帯側にはエネ

10

20

30

40

50

ルギー障壁が存在する。また、第1チャネル層154を構成するInGaAsNは、InGaAsよりも伝導帯端のポテンシャルが低いので、第1チャネル層154と第2チャネル層153との間にもエネルギー障壁が存在し、伝導帯端のエネルギーバンドは第1チャネル層154の部分が下向きにへこんだ形になっている。このため、第1チャネル層154内にキャリア電子が蓄積し、装置の駆動時には二次元電子ガス159が生じる。

【0068】また、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、第1の実施形態と同様、従来のHFETのチャネル層に比べて薄い第1チャネル層154内にキャリアを閉じこめているため、二次元電子ガス159の移動度と濃度とを従来よりも向上させることができる。加えて、第1チャネル層154の厚みd3を厚くすることで、第1チャネル層154を設けない場合と比べ主として第1チャネル層154における下位の量子準位E1'が低くなっている。そのため、第1チャネル層154における下位の量子準位E1'と上位の量子準位E2'との間隔を従来のHFETよりも広げることができるので、下位の量子準位E1'の状態にあるキャリアの存在確率を大きくすることができる。この結果、量子準位E1'の状態にある電子が上位の量子準位E2'の状態に遷移しにくくなって二次元電子ガス159の移動度が向上する。加えて、衝突イオン化が抑制され、耐圧性と動作の安定性も向上する。このように、本実施形態の通信機器用半導体装置は、InP基板を用いた半導体装置本来の優れた高周波特性を安定して発揮することができるので、高周波を用いる通信システム機器に好ましく用いられる。

【0069】ここで、第1チャネル層154の厚みd3（本実施形態では7.5nm以下）は、バイアス印加時に下位の量子準位E1'が第1チャネル層154内に取り込まれている厚さであれば任意でよい。こうすることで、第1チャネル層154の厚みd3を調節することによって下位の量子準位E1'を調節することが可能になる。

【0070】また、第1チャネル層154の厚みd3は、第1チャネル層154における上位の量子準位E2'が第1チャネル層154の伝導帯端を越えて第2チャネル層153の伝導帯端にかかるか、または、スペーサ層155と第2チャネル層153とで構成される量子井戸内にとりこまれるような値に調節すればよい。この際には、第1チャネル層154の厚みd3を変化させたときの、上位の量子準位E2'の変動を下位の量子準位E1'の変動よりも小さくすることができる。本実施形態においては、第1チャネル層154の厚みd3を厚くしているので、第1チャネル層154を設けない場合に比べて下位の量子準位E1'を選択的に低くすることができ、下位の量子準位E1'と上位の量子準位E2'との間隔を広げることが可能になっている。そのため、上

位の量子準位E2'と下位の量子準位E1'との間隔は、少なくともInGaAs単独における上位と下位の量子準位の間隔よりも広がっている。

【0071】また、第1チャネル層154を構成するInGaAsNの組成は、バンドギャップ幅が0.77eV以下になるようにする。このとき、伝導帯における第1チャネル層154とスペーサ層155との間のバンド不連続量は、0.55eV以上になっている。

【0072】なお、本実施形態においては、バッファ層152、第1チャネル層154及び第2チャネル層153がInP基板151に格子整合する例を説明したが、必ずしも格子整合していなくてもよい。

【0073】また、第1チャネル層154は、InGaAsNに代えて、In, Ga, Al等のIII族元素とN, As, P, Sb等のV族元素との組み合わせで構成される化合物からなっている。特に、第1チャネル層154は、InGaAs, InGaAsN及びInGaAsPNのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることが好ましい。第1チャネル層154を先に挙げた化合物と異なる材料から構成することによっても第1チャネル層154と第2チャネル層153との間の伝導帯側のバンド不連続量を変えることができるので、下位の量子準位E1'と上位の量子準位E2'の間隔を調節することができる。

【0074】なお、本実施形態においては、動作時にゲートバイアスを印加する通信機器用半導体装置について説明したが、ゲートバイアスを印加しない状態においても、第2チャネル層153よりも伝導帯のポテンシャルが低い第1チャネル層154を設けることにより、第1チャネル層154における下位の量子準位E1'の高さを選択的に調節することができ、下位の量子準位E1'と上位の量子準位E2'との間隔を調節することができる。また、このような量子井戸構造は、例えば半導体レーザーなどにも応用することが可能である。

【0075】また、本実施形態の通信機器用半導体装置においても第1の実施形態と同様に、第1チャネル層154にキャリアを供給するための層として不純物添加層156に代えてδドープ構造を有するInAlAs積層部を設けてよい。

【0076】（第3の実施形態）本発明の第3の実施形態として、第1の実施形態と第2の実施形態とを組み合わせた通信機器用半導体装置を以下説明する。

【0077】図5は、本発明の第3の実施形態に係る通信機器用半導体装置を示す断面図である。同図に示すように、本実施形態の通信機器用半導体装置は、InP基板251と、InP基板251上に設けられたアンドープのInAlAsからなる厚さ200nmのバッファ層252と、バッファ層252上に設けられ、アンドープのInGaAsからなる厚さ10～15nmの第2チャネル層253と、第2チャネル層253の上に設けら

れ、アンドープの  $\text{InGaAsN}$  からなる厚さ  $7.5 \text{ nm}$  以下の第1チャネル層 255 と、第1チャネル層 255 の上に設けられたアンドープの  $\text{InAlAs}$  からなる厚さ  $2 \text{ nm}$  のスペーサ層 256、スペーサ層 256 の上に例えば共蒸着により設けられた面密度  $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  の  $\text{Si}$  を含む原子層ドーピング面からなる不純物添加層 257 と、不純物添加層 257 の上に設けられたアンドープの  $\text{InAlAs}$  からなる厚さ  $15 \text{ nm}$  のバリア層 258 と、バリア層 258 の上に設けられたゲート電極 263 と、ゲート電極 263 の両側方に設けられた  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の  $\text{Si}$  を含む  $n$  型  $\text{InGaAs}$  からなるコンタクト層 259 と、第1チャネル層 255、スペーサ層 256、不純物添加層 257、バリア層 258 及びコンタクト層 259 の一部に  $\text{Si}$  をイオン注入することにより設けられたソース領域 264 及びドレイン領域 265 と、ソース領域 264 上に設けられたソース電極 262 と、ドレイン領域 265 の上に設けられたドレイン電極 261 とを備えている。そして、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、第1の実施形態と同様に、第2チャネル層 253 の内部にアンドープの  $\text{InGaAlAs}$  からなる厚さ  $1 \sim 10 \text{ nm}$  のチャネル内挿入層 254 が埋め込まれている。また、ドレイン電極 261 及びソース電極 262 は共に  $\text{AuGe/Ni}$  等からなっており、ドレイン領域 265 及びソース領域 264 とそれぞれオーミック接触している。

【0078】本実施形態の通信機器用半導体装置の駆動時には第1チャネル層 255 内に二次元電子ガス 260 が生じる。この二次元電子ガス 260 はソース領域 264 を介してソース電極 262 と、ドレイン領域 265 を介してドレイン電極 261 と、それぞれ電気的に接続されている。

【0079】また、 $\text{InP}$  基板 251 上に設けられた各層は、第1及び第2の実施形態と同様に、それぞれ  $\text{InP}$  基板 251 に格子整合している。

【0080】以上のように、本実施形態の通信機器用半導体装置は、第1の実施形態で説明したチャネル内挿入層と、第2の実施形態で説明した第1及び第2のチャネル層とを併せて備えたものである。以下、上記の構成の効果について図を用いて説明する。

【0081】図6(a)、(b)は、それぞれ図15のIIa-IIa線断面における従来のHFE Tのエネルギーバンド図(図2(a)、図4(a)と同じ図)、及び図5のVIb-VIb線断面における本実施形態の通信機器用半導体装置のエネルギーバンド図である。ここで、同図

(b)においては、第1チャネル層 255 の膜厚は  $d_1$  で、第1チャネル層 255 とチャネル内挿入層 254 との間隔は  $d_2$  で、チャネル内挿入層 254 の膜厚は  $d_3$  で、それぞれ示されている。

【0082】図6(a)、(b)に示すように、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、第1チャネル

層 255 の伝導帯端とスペーサ層 256 の伝導帯端との間には  $0.55 \text{ eV}$  以上のエネルギー障壁が存在する。また、第1チャネル層 255 が第2チャネル層 253 よりも伝導帯端のポテンシャルが低い  $\text{InGaAsN}$  から構成されているため、第1チャネル層 255 と第2チャネル層 253 との間にも  $0.2 \text{ eV}$  以上のエネルギー障壁が存在している。この結果、第1チャネル層 255 内ではキャリア電子が蓄積し、移動度が大きい二次元電子ガス 260 が生じる。特に、第2の実施形態と同様に、キャリアが膜厚の薄い第1チャネル層 255 内に閉じこめられるので、二次元電子ガス 260 の移動度及び濃度は従来のHFE Tにおけるよりも大きくなる。加えて、第1チャネル層 255 の厚み  $d_1$  を厚くすることで、第1チャネル層 255 における量子準位  $E_1'$  と上位の量子準位  $E_2'$  との間隔を従来のチャネル層における量子準位の差よりも広くすることができるので、量子準位  $E_1'$  の状態にある電子を上位の量子準位  $E_2'$  に遷移しにくくすることができる。また、第1チャネル層 255 内での衝突イオン化も抑制されるので、本実施形態の通信機器用半導体装置では、耐圧性と動作の安定性が向上する。ここで、第1チャネル層 255 の厚み  $d_1$  は、下位の量子準位  $E_1'$  が第1チャネル層 255 内に取り込まれている厚さが好ましい。下位の量子準位  $E_1'$  が少なくとも第1チャネル層 255 と第2チャネル層との界面における第2のチャネル層の伝導帯におけるポテンシャルよりも低くなっており、第1チャネル層 255 の伝導帯ポテンシャルが下位の量子準位  $E_1'$  にかかっているならば第1チャネル層 255 内にキャリアを閉じこめることができる。

【0083】なお、本実施形態では、第1チャネル層 255 のバンドギャップ幅は  $0.77 \text{ eV}$  以下とし、チャネル内挿入層 254 のバンドギャップ幅は  $0.77 \text{ eV}$  以上である。

【0084】上記の効果に加え、本実施形態の通信機器用半導体装置は、 $\text{InGaAlAs}$  からなるチャネル内挿入層 254 を備えているので、第1及び第2の実施形態と比べても下位の量子準位  $E_1'$  と上位の量子準位  $E_2'$  との間隔を広くすることができる。この結果、本実施形態の通信機器用半導体装置では、第1及び第2の実施形態に比べて二次元電子ガス 260 の移動度及び濃度を高くすることができる。また、第1のチャネル層内での衝突イオン化の発生を抑制されると共に、キャリアが上位の量子状態に遷移することも抑制されている。

【0085】なおこの際、上位の量子準位  $E_2'$  は第1チャネル層 255 を越えて第2チャネル層 253 のうちチャネル内挿入層 254 の上の領域にかかってもよい。

【0086】このように、本実施形態の通信機器用半導体装置は、 $\text{InP}$  基板を用いた半導体装置本来の優れた高周波特性を安定して発揮することができるので、高周波を用いる通信システム機器に好ましく用いられる。

#### 【0087】（第4の実施形態） ー通信システムの基本的な構成ー

本発明の第4の実施形態として、第1～第3の実施形態に係る通信機器用半導体装置を用いた情報通信システムの一例を説明する。

【0088】図7は、本発明の各実施形態におけるミリ波を利用した通信システム（ネットワークシステム）の全体概念の一例を示す斜視図である。同図に示すように、基幹光ファイバライン（Trunk Line 0-Fiber）から分岐する多数の光ファイバラインの先端にそれぞれ基地局が設けられている。また、各基地局から各家庭（又はオフィス）にミリ波による通信を行なうための無線通信網が形成されている。そして、各家庭又はオフィスの無線端末（移動局）では、ミリ波を用いて、基地局から各家庭又はオフィスの機器に対する各種メディアの供給や、インターネット通信や、移動局間の通信などをすることが可能になっている。つまり、ミリ波は光に近い波長を有することから物体による電波妨害を受けやすいので、基地局までは光ファイバ網を介して光通信によるデータの送受信が行なわれ、基地局で光信号と電気信号との間で変換が行われ、家庭又はオフィスと基地局との間ではミリ波を利用したワイヤレスアクセスが可能な構成となっている。システムの一部においては、基幹光ファイバラインに直接接続される基地局と携帯情報端末や企業内の端末との間で、アンテナを介してワイヤレスアクセスが可能に構成されている。

【0089】図8は、図7に示す基地局と各家庭やオフィス内の無線端末との間における通信システムの構成を概略的に示すブロック図である。同図に示すように、本実施形態の通信システムは、光ファイバ網（ネットワーク）300を介して互いに接続される多数の無線基地局301と、各無線基地局301を介して互いに通信を行なうための無線端末302とを備えている。各無線基地局301は、電波の受信、送信を行なうためのアンテナ装置311と、アンテナ装置311で受信した電波信号を増幅するなどの機能を有する受信増幅部312と、アンテナ装置311に増幅した高周波信号を送り込むための送信増幅部313と、受信増幅部312や送信増幅部313に接続される無線送受信部314と、各デバイスの動作を制御するための制御部315と、無線基地局301と光ファイバ網300との間の信号を接続するための有線接続部316とを備えている。また、無線端末302は、電波の受信、送信を行なうためのアンテナ装置321と、アンテナ装置321で受信した電波信号を増幅するなどの機能を有する受信増幅部322と、アンテナ装置321に増幅した高周波信号を送り込むための送信増幅部323と、各デバイスの動作を制御するための制御部325とを備えている。

【0090】図9は、無線基地局301の内部構成をより詳細に示すブロック回路図である。同図に示すよう

に、アンテナ装置311は、アンテナ本体311aと、アンテナ本体311aの送受信を切り換えるためのアンテナスイッチ311bとによって構成されている。また、受信増幅部312は、フィルタ331と、低雑音アンプ（LNA）332とを直列に2段ずつ配置して構成されている。無線送受信部314には局所増幅器と高周波発信器との出力を混合して高周波信号を生成するためのミキサ334が配置されている。送信増幅部313には、ドライバアンプ335と、フィルタ336と、ミドルアンプ337と、メインアンプ338とが配置されている。有線接続部316は、音声信号を処理するためのベースバンド信号処理部317と、インターフェース部318と、光ファイバ網（ネットワーク）300に接続される交換制御部319とによって構成されている。なお、図示しないが、光信号と電気信号との間で変換を行う信号変換装置がインターフェース部318に設けられている。

【0091】図10は、図9に示す送信増幅部313に配置されているメインアンプ338の構造例を示す電気回路図である。同図に示すように、メインアンプ338は、ゲートに入力信号Pinを受けて、ドレインから出力信号Poutを出力するHFEETを配置して構成されている。このHFEETとして、第1～第3の実施形態の通信機器用半導体装置が用いられる。

【0092】また、HFEETのゲートには抵抗Rgを介してゲートバイアスVgが印加され、HFEETのドレインにはチョークインダクタを介して電源電圧Vdが印加されており、HFEETのソースは接地に接続されている。また、入力側回路には、HFEETに入力側回路を介して入力信号Pinを供給するための入力端子Tinと、信号源抵抗Rsを介して入力端子Tinに電力を供給するための信号源と、入力側インピーダンス整合回路を構成するキャパシタC1、Cin及びマイクロストリップ線路とが設けられている。出力側回路には、外部に出力側回路を介して出力信号を送るための出力端子Toutと、出力側インピーダンス整合回路を構成するキャパシタC2、Cout及びマイクロストリップ線路と、出力端子Toutと接地との間に介在する負荷抵抗RLとが設けられている。なお、HFEETの代わりにバイポーラトランジスタを設けた場合には、バイポーラトランジスタのエミッタと接地との間には、破線で示されるダイオードが配置されることがある。

【0093】移動体通信に用いられるパワーアンプには高効率、低ひずみといった特性が要求される。一般に高周波用パワーデバイスでは効率とひずみはトレードオフの関係にある。パワーアンプでは低ひずみを確保したうえでいかに効率を上げるかが重要となる。図10に示すように、入力側インピーダンス整合回路では入力端子PinからHFEET側を見た反射係数ができるだけ小さくなるように、並列接続されたキャパシタCinの容量値

と、マイクロストリップ線路の長さ  $L_{in}$  の長さとが調整されている。ここで、キャパシタ  $C1$ 、 $C2$  は電流阻止用のコンデンサであり、高周波領域では十分に低いインピーダンスとなっている。ゲートバイアス供給用の抵抗  $R_g$  は、高周波電力の漏れがないようゲート入力インピーダンスに比べて高い値に設定されている。ドレインバイアス供給用のチョークインダクタ  $L$  のインダクタンスや、キャパシタ  $C1$ 、 $C2$  の容量値、抵抗  $R_g$  の抵抗値は高周波領域のインピーダンスには影響を与えない。

【0094】本実施形態の通信システムにおいては、優れた高周波特性を安定して示す第1～第3の実施形態で示した通信機器用半導体装置をメインアンプ等の通信機器に有しているので、従来のHFETを用いた場合に比べて信頼性が向上している。

【0095】一 半導体集積回路装置の例一

次に、基地局、携帯情報端末(PDA)、送受信モジュール(家電機器内に配置されるものや、通信カードなど)などの通信システム用機器に配置されるトランジスタ、ダイオードなどの能動素子と、キャパシタ、インダクタなどの受動素子とを集積してなる半導体集積回路装置の例について説明する。ここでは、半導体集積回路装置としてMMICの構成を有するものについて説明するが、本発明の半導体集積回路装置は、MMICのごとくモジュール化されたものに限定されることはない。

【0096】図11は、本発明の実施形態におけるInP基板上にショットキーダイオード、HFET、MESFET、キャパシタ及びインダクタを集積してなる半導体集積回路装置(MMIC)の断面図である。

【0097】高濃度の鉄(Fe)がドーピングされた厚み約100 $\mu$ mの半絶縁性のInP基板410には、アンドープで厚み約200nmの第1の活性領域であるInAlAs層415と、厚み約70nmの第2の活性領域である多重 $\delta$ ドーピングInGaAs層412と、アンドープで厚み約10nmのInAlAs層416と、アンドープで厚み約15nmのInGaAs層417と、InGaAs層417内に埋め込まれた厚みが1～10nmの埋め込みチャンネル層と、厚みが約65nmの多重 $\delta$ ドーピングInAlAs層413と、エッチング阻止層である厚み約5nmのInP層418とが設けられている。

【0098】ここで、図11の下方に拡大して示すように、多重 $\delta$ ドーピングInGaAs層412は、高濃度(例えば $1 \times 10^{20} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ )のSi(シリコン)を含む厚みが約1nmのInGaAs単結晶からなるn型ドーピング層412aの5層と、InGaAs単結晶からなる厚み約10nmのアンドープ層412bの6層とを積層して構成されている。一方、多重 $\delta$ ドーピングInAlAs層413は、高濃度(例えば $1 \times 10^{20} \text{ atoms} \cdot \text{cm}^{-3}$ )のSiを含む厚みが約1nmのn型ドーピング層413aの5層と、アンドープのInAlAs単結晶からなる厚み約5nmのアンドープ層413bの6層とを積層し

て構成されている。そして、n型ドーピング層412aは、量子効果によるアンドープ層412bへのキャリアの浸みだしが可能な程度に薄く形成されている。n型ドーピング層412a、413aはいわゆる $\delta$ ドーピング層であり、急峻な濃度勾配を示す複数の高濃度ドーピング層( $\delta$ ドーピング層)を低濃度ドーピング層(アンドープ層)と交互に積層した構造は多重 $\delta$ ドーピング層と称される。

【0099】また、InP基板410上のうち多重 $\delta$ ドーピングInGaAs層412が露出している部分の上には、ショットキーダイオード420(整流素子)と、MESFET430(パワーアンプ)とが設けられ、InP基板410のうち多重 $\delta$ ドーピングInAlAs層413が最上部に存在する部分の上には、HFET440(パワーアンプ)と、キャパシタ450(容量素子)と、インダクタ460(誘導素子)とが設けられている。すなわち、図10に示す送信増幅部313のメインアンプ338を構成しているHFET、ダイオード(破線部)、キャパシタ、インダクタや、周波数領域がミリ波よりも低い高周波信号(10GHz以下)を増幅する回路に配置されるMESFETが1つのInP基板上に設けられている。

【0100】ここで示す例では、メインアンプ338を構成するHFET440のチャンネル層となるInGaAs層417に第1の実施形態で説明したチャンネル内挿入層419が埋め込まれているため、n型ドーピング層413aから供給されたキャリアがInGaAs層417のうち多重 $\delta$ ドーピングInAlAs層413とチャンネル内挿入層419との間の領域に良好に閉じこめられることになる。その上、衝突イオン化の発生が抑制されるとともにキャリアが上位の量子準位に遷移しにくくなっているため、本実施形態で示すメインアンプ338等の通信機器は優れた高周波特性を安定して発揮することができるようになっている。

【0101】一 通信システムの各部の構成一

次に、第1～第3の通信機器用半導体装置が用いられる通信システムの各部について説明する。

【0102】図12は、図8に示す通信システム中の無線端末(移動局)302の一例を概略的に示す図である。ここでは、PDC方式を採用している。図12に示す高周波無線部は、図8に示す受信増幅部322と送信増幅部323とを含んでいる。図8に示す移動局である無線端末302の制御部は、図12に示すCPUと、暗号TDMA-CCTと、SP-CODECと、ROM/RAMと、TERM-ADPと、DPSK-MODと、HiSpeedSYNTHと、IF-ICと、CPSK-DEMOD(EQL)とによって構成されている。

【0103】図12に示す高周波無線部内のリニアPA(パワーアンプ)は、例えば第1の実施形態の通信機器用半導体装置であるHFETを有する回路により構成することができる。その際、制御部用の各回路中のHFE



Tとしても本発明の通信機器用半導体装置は利用される。

【0104】図13は、図9に示すミキサ334又は図12に示すミキサの回路構成例を示す電気回路図である。ここでは、ローカルアンプ付きミキサの例を示している。つまり、ローカル信号S<sub>lo</sub>をゲートに受け、これを増幅した信号S<sub>out1</sub>をドレインから出力するローカル信号増幅用のHFEET1と、2つの信号S<sub>mix1</sub>, S<sub>mix2</sub>をゲートに受け、これを混合して増幅した信号S<sub>out2</sub>をドレインから出力するミキサ信号増幅用のHFEET2とが配置されている。この回路中のHFEET、ダイオード、キャパシタを、例えば図11に示すように、1つのInP基板上に形成して、1つのMMICを構成することができる。なお、図11には示されていないが、抵抗素子は、インダクタの導体膜の一部と見なせるので、抵抗素子をInP基板上に形成することは極めて容易である。

【0105】図14は、図12に示すSPDTSスイッチを含む高出力スイッチ回路、又は図9に示すアンテナスイッチに配置される高出力スイッチ回路の例を示す電気回路図である。この例では、入力信号S<sub>in1</sub>, S<sub>in2</sub>を受けて、いずれかの入力信号S<sub>in1</sub>, S<sub>in2</sub>を増幅した信号S<sub>out</sub>を出力するように構成されている。ここで、出力信号HFEET1-HFEET4、キャパシタC1-C6、ダイオードD1-D2、及び抵抗素子R1-R6を1つのInP基板上に形成して、MMICを構成することができる。

【0106】以上に示すように、移動局や基地局中の種々の通信システム用機器に本発明の通信機器用半導体装置が用いられる。本発明の通信機器用半導体装置は、従来のものに比べて優れた高周波特性を有し、且つ電気的特性も安定しているので、これを通信システム用機器に使用することで、通信システム用機器の性能向上を図ることができる。

【0107】

【発明の効果】本発明の通信機器用半導体装置によれば、HFEETにおいて、チャネル層中にチャネル内挿入層を埋め込むこと等によりバンド構造を最適化することで、キャリアのチャネル層内への閉じこめを強め、高い移動度を有する二次元電子ガスを高濃度で生じさせることができる。また、電離衝突によるイオン化が抑制されると共にキャリアが上位の量子準位へ遷移しにくくなっているので、電気特性の安定化をも図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る通信機器用半導体装置を示す断面図である。

【図2】(a), (b)は、それぞれ図15に示すIIa-IIa線断面における従来のHFEETのエネルギーバンド図、及び図1に示すIIb-IIb線断面における第1の実施形態に係る通信機器用半導体装置のエネルギーバンド

図である。

【図3】本発明の第2の実施形態に係る通信機器用半導体装置を示す断面図である。

【図4】(a), (b)は、それぞれ図15に示すIIa-IIa線断面における従来のHFEETのエネルギーバンド図、及び図3のIVb-IVb線断面における第2の実施形態に係る通信機器用半導体装置のエネルギーバンド図である。

【図5】本発明の第3の実施形態に係る通信機器用半導体装置を示す断面図である。

【図6】(a), (b)は、それぞれ図15に示すIIa-IIa線断面における従来のHFEETのエネルギーバンド図、及び図5に示すVIb-VIb線断面における第3の実施形態に係る通信機器用半導体装置のエネルギーバンド図である。

【図7】本発明の第4の実施形態に係るミリ波を利用した通信システムの全体概念の一例を示す斜視図である。

【図8】図7に示す基地局と各家庭やオフィス内の無線端末との間における通信システムの構成を概略的に示すブロック図である。

【図9】図8に示す基地局の内部構成をより詳細に示すブロック回路図である。

【図10】図9に示す送信増幅部に配置されているメインアンプの構造例を示す電気回路図である。

【図11】第4の実施形態に係る通信システムで用いられる半導体集積回路装置(MMIC)の断面図である。

【図12】図8に示す通信システム中の無線端末(移動局)の一例を概略的に示す図である。

【図13】図9または図12に示すミキサの回路構成例を示す電気回路図である。

【図14】図12に示すSPDTSスイッチを含む高出力スイッチ回路、または図9に示すアンテナスイッチに配置される高出力スイッチ回路の例を示す電気回路図である。

【図15】従来のHFEETの構造を示す断面図である。

【符号の説明】

|                    |          |
|--------------------|----------|
| 101, 151, 251, 410 | InP基板    |
| 102, 152, 252      | バッファ層    |
| 103                | チャネル層    |
| 104, 254, 419      | チャネル内挿入層 |
| 105, 155, 256      | スペーサ層    |
| 106, 156, 257      | 不純物添加層   |
| 107, 157, 258      | バリア層     |
| 108, 158, 258      | コンタクト層   |
| 109, 159, 260      | 二次元電子ガス  |
| 110, 160, 261      | ドレイン電極   |
| 111, 161, 262      | ソース電極    |
| 112, 162, 263, 442 | ゲート電極    |
| 114, 164, 264      | ソース領域    |
| 115, 165, 265      | ドレイン領域   |



153, 253  
154, 255  
300  
301  
302  
311  
311a  
311b  
312, 322  
313, 323  
314  
315, 325  
316  
317  
理部  
318  
319  
320  
321  
331, 336, 339

第2チャネル層  
第1チャネル層  
光ファイバー網  
無線基地局  
無線端末  
アンテナ装置  
アンテナ本体  
アンテナスイッチ  
受信増幅部  
送信増幅部  
無線送受信部  
制御部  
有線接続部  
ベースバンド信号処  
理部  
インタフェース部  
交換制御部  
電源部  
アンテナ装置  
フィルタ

332  
334  
335  
338  
411  
412  
aAs層  
412a, 413a  
412b, 413b  
417  
418  
420  
ード  
430  
440  
450  
460  
E1'  
E2'

低雑音アンプ  
ミクサ  
ドライバアンプ  
メインアンプ  
素子分離用絶縁膜  
多重 $\delta$ ドープInG

n型ドープ層  
アンドープ層  
InGaAs層  
InP層  
ショットキーダイオ

MESFET

HFET

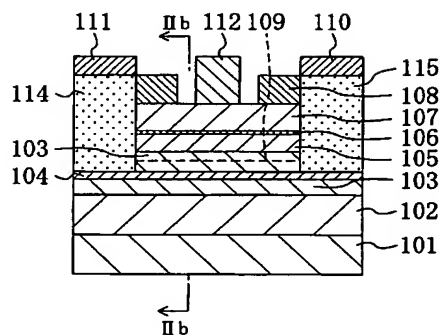
キャパシタ

インダクタ

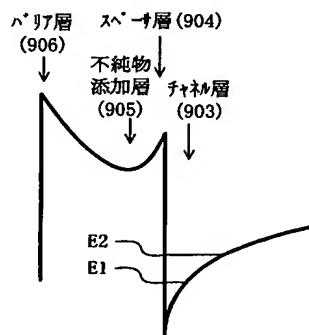
下位の量子準位

上位の量子準位

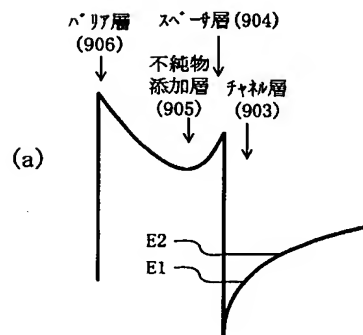
【図1】



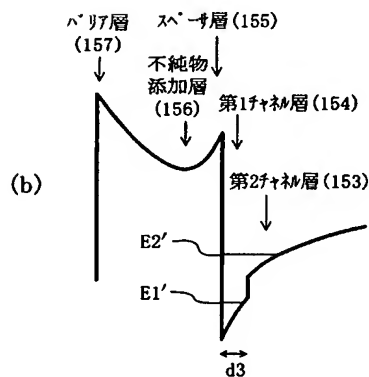
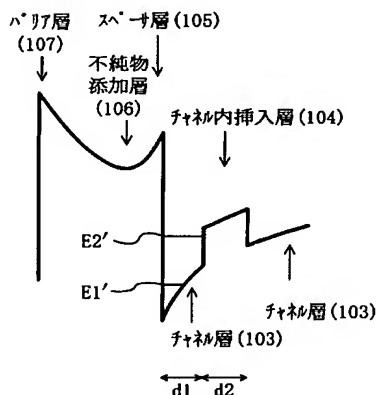
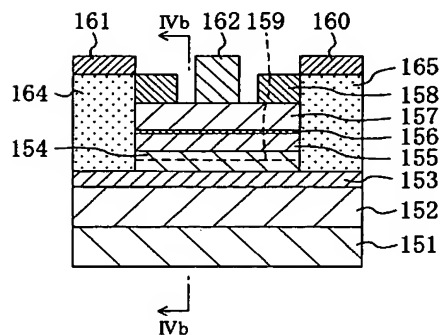
【図2】



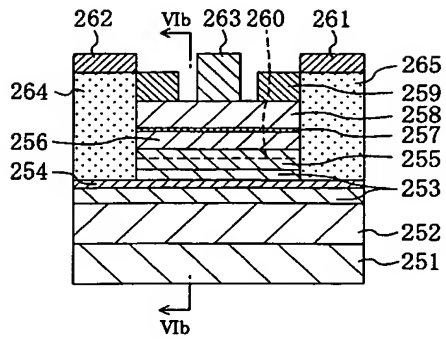
【図4】



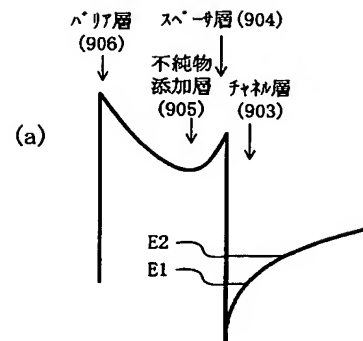
【図3】



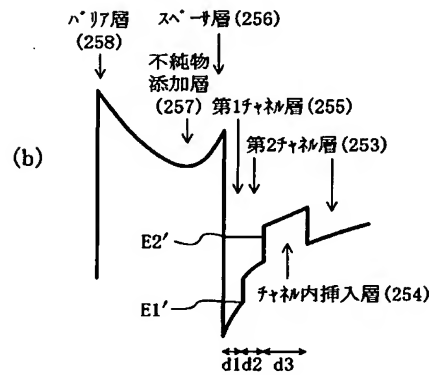
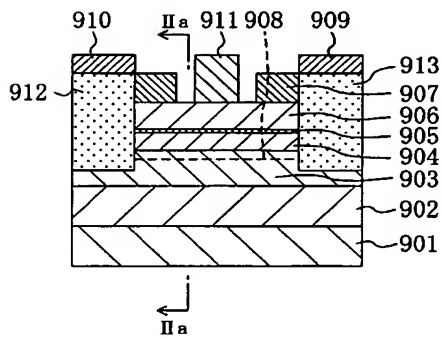
【図5】



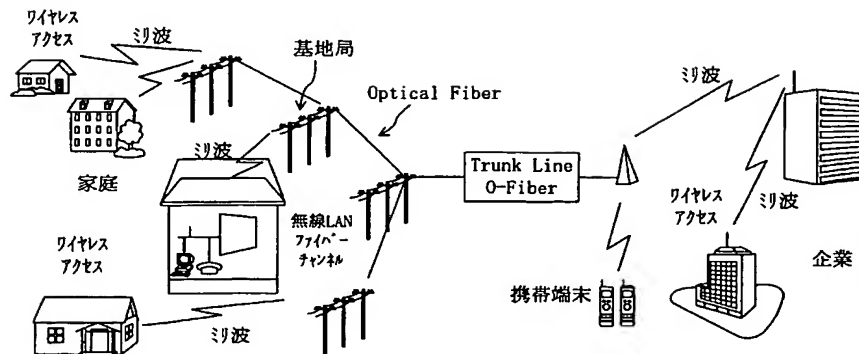
【図6】



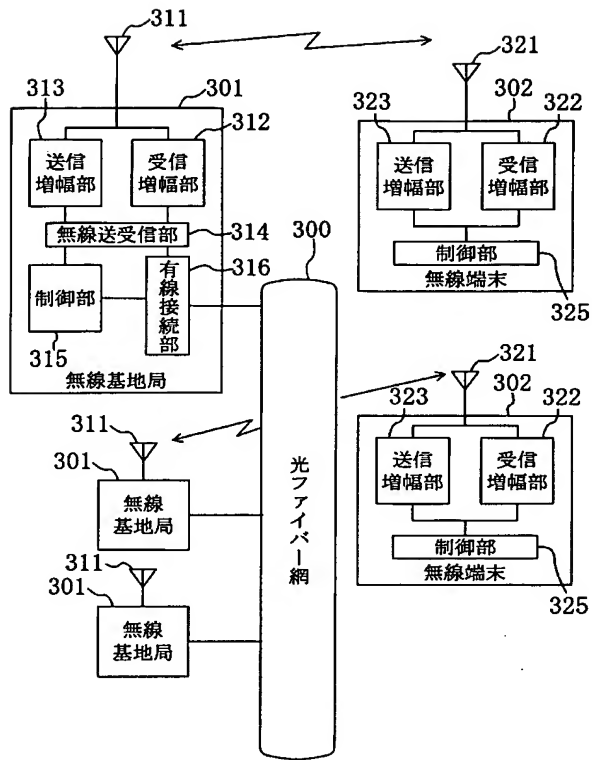
【図15】



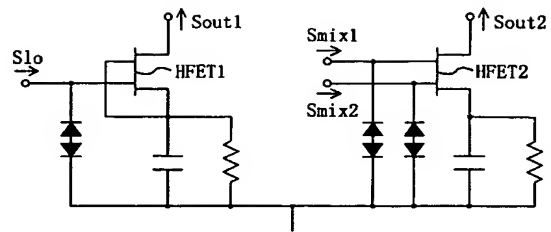
【図7】



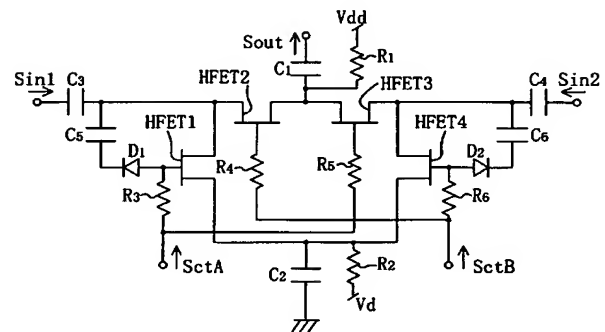
【図 8】



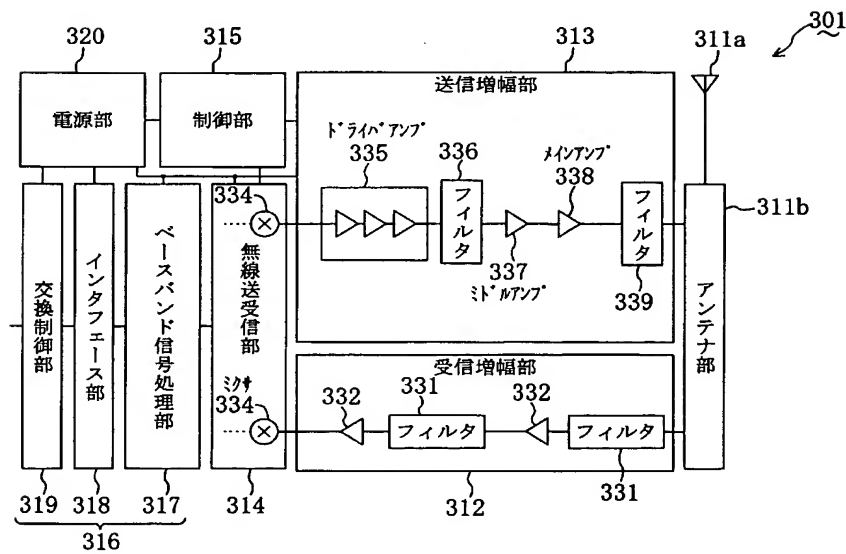
【図 13】



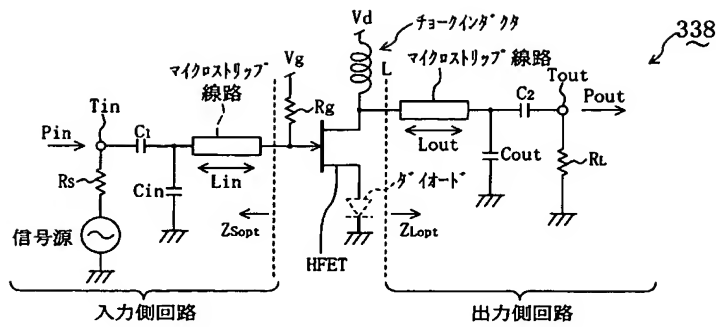
【図 14】



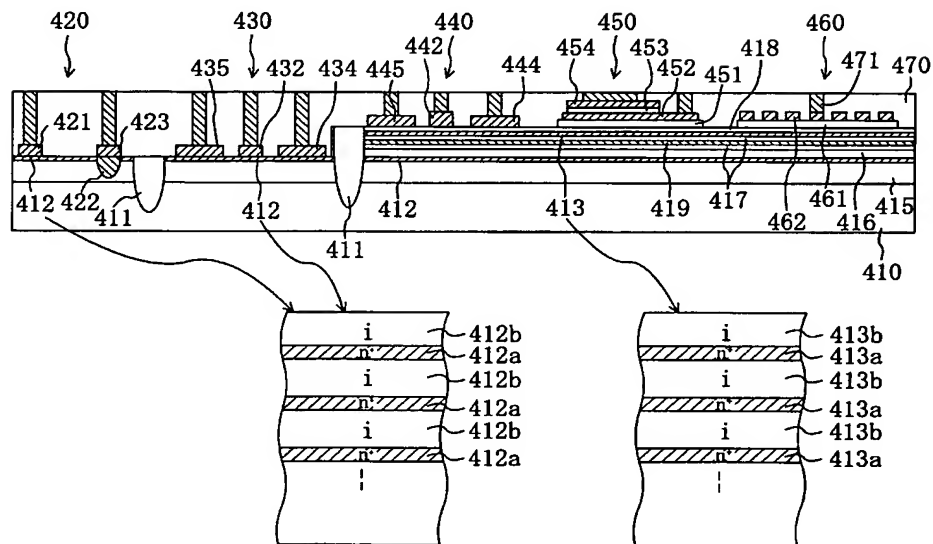
【図 9】



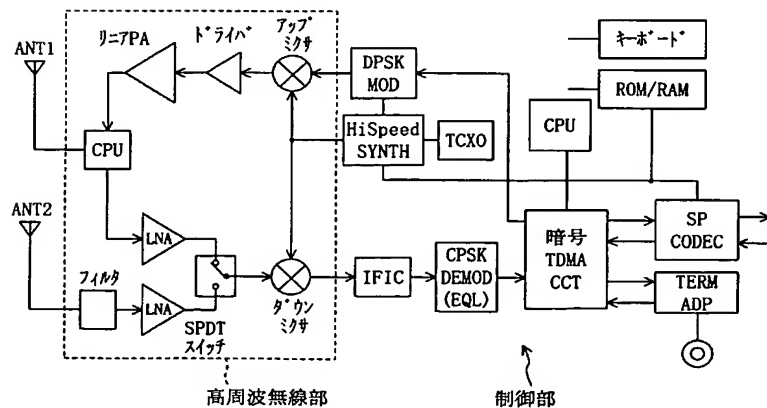
【図 10】



【図 1 1】



【図 12】



フロントページの続き

| (51) Int. Cl. <sup>7</sup> | 識別記号                                      | F I        | テーマコード (参考)  |
|----------------------------|---|------------|--|
| H 0 1 L                    | 27/095<br>29/778<br>29/812                |            |  |
| (72) 発明者                   | 出口 正洋<br>大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器<br>産業株式会社内 | F ターム (参考) | 5F038 AC02 AZ04 DF02 EZ01 EZ02<br>EZ20<br>5F102 FA01 GA14 GA15 GA16 GA17<br>GB01 GC01 GD01 GJ06 GK04<br>GL04 GL07 GL08 GL14 GL16<br>GL20 GM04 GM07 GM08 GN04<br>GQ01 GR04 GR10 GT03 HC01<br>HC04 |
| (72) 発明者                   | 吉井 重雄<br>大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器<br>産業株式会社内 |            |  |
| (72) 発明者                   | 古屋 博之<br>大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器<br>産業株式会社内 |            |  |

## 特許協力条約

発信人 日本国特許庁（国際予備審査機関）

出願人代理人  
角田 嘉宏

様

あて名

〒 650-0031

兵庫県神戸市中央区東町123番地の1  
貿易ビル3階 有古特許事務所PCT  
国際予備審査機関の見解書  
(法第13条)  
〔PCT規則66〕発送日  
(日.月.年)

25. 5. 2004

出願人又は代理人  
の書類記号 03P448WO

応答期間

上記発送日から 2 月以内

国際出願番号  
PCT/JPO3/13747国際出願日  
(日.月.年) 28. 10. 2003優先日  
(日.月.年) 29. 10. 2002国際特許分類 (IPC) Int. Cl.<sup>7</sup> H01L21/338, H01L29/778, H01L29/812,  
H01L29/203, H01L21/205

出願人 (氏名又は名称)

松下電器産業株式会社

1. ☐ 国際調査機関の作成した見解書は、国際予備審査機関の見解書と ☐ みなされる。  
☐ みなされない。
2. この第 1 回目の見解書は、次の内容を含む。
- ☒ 第I欄 見解の基礎
  - ☐ 第II欄 優先権
  - ☐ 第III欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解の不作成
  - ☐ 第IV欄 発明の単一性の欠如
  - ☒ 第V欄 法第13条 (PCT規則66.2(a)(ii)) に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及び説明
  - ☒ 第VI欄 ある種の引用文献
  - ☐ 第VII欄 国際出願の不備
  - ☐ 第VIII欄 国際出願に対する意見
3. 出願人は、この見解書に応答することが求められる。
- いつ? 上記応答期間を参照すること。この応答期間に間に合わないときは、出願人は、法第13条 (PCT規則66.2(e)) に規定するとおり、その期間の経過前に国際予備審査機関に期間延長を請求することができる。ただし、期間延長が認められるのは合理的な理由があり、かつスケジュールに余裕がある場合に限られることに注意されたい。
- どのように? 法第13条 (PCT規則66.3) の規定に従い、答弁書及び必要な場合には、補正書を提出する。補正書の様式及び言語については、法施行規則第62条 (PCT規則66.8及び66.9) を参照すること。
- なお 補正書を提出する追加の機会については、法施行規則第61条の2 (PCT規則66.4) を参照すること。補正書及び/又は答弁書の審査官による考慮については、PCT規則66.4の2を参照すること。審査官との非公式の連絡については、PCT規則66.6を参照すること。
- 応答がないときは、国際予備審査報告は、この見解書に基づき作成される。
4. 特許性に関する国際予備報告 (特許協力条約第2章) 作成の最終期限は、PCT規則69.2の規定により 28. 02. 2005 である。

名称及びあて先  
日本国特許庁 (IPEA/J P)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号特許庁審査官 (権限のある職員)  
澁 真悟

4 L 2933

電話番号 03-3581-1101 内線 3496

第V欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての法第13条（PCT規則66.2(a)(ii)）に定める見解、それを裏付ける文献及び説明

## 1. 見解

|                |       |                |   |
|----------------|-------|----------------|---|
| 新規性 (N)        | 請求の範囲 | 1-19           | 有 |
|                | 請求の範囲 |                | 無 |
| 進歩性 (IS)       | 請求の範囲 | 6-14, 18       | 有 |
|                | 請求の範囲 | 1-5, 15-17, 19 | 無 |
| 産業上の利用可能性 (IA) | 請求の範囲 | 1-19           | 有 |
|                | 請求の範囲 |                | 無 |

## 2. 文献及び説明

文献1: D R Hang et al., 'Shubnikov-de Haas oscillations of two-dimensional electron gas in an InAsN/InGaAs single quantum well', Semiconductor Science and Technology, Vol.17, No.9, September 2002, p.999-1003

文献2: JP 2000-91559 A (富士通株式会社), 2000.03.31

文献3: JP 2000-164852 A (日立電線株式会社), 2000.06.16

文献4: JP 2002-94187 A (株式会社日立製作所), 2002.03.29

文献5: JP 2000-216101 A (シャープ株式会社), 2000.08.04

請求の範囲 1-3, 5, 16, 17, 19

請求の範囲1-3, 5, 16, 17, 19に記載された発明は、国際調査報告で引用された文献1-3より進歩性を有しない。

文献1の1. Introduction には、文献1の要点として、窒素濃度0.4%のInAsN/InGaAsSQWの二次元電子ガスに関するものであると記載されている。また、2. Experimental には、プラズマで活性化したNを用いて結晶成長することが記載されている。

文献2の段落番号【0023】、文献3の段落番号【0002】には、二次元電子ガスを有する量子井戸構造を高電子移動度トランジスタに用いることが記載されている。また、文献2には、高電子移動度トランジスタを通信装置に用いることが記載されている。

そうすると、文献1に記載された構造を、文献2、3に記載されたように、高電子移動度トランジスタに適用し、さらには通信装置に応用することは、当業者が容易に想到し得るものと認められる。また、InAsNのN組成や、基板と量子井戸層との間にバッファ層を設けるか否かは、所望の特性の量子井戸層を得るために、当業者が適宜選択し得る設計的事項に過ぎない。



## 補充欄

いずれかの欄の大きさが足りない場合

## 第 V.2 欄の続き

なお、GaとNの組成について、例えば明細書第11頁には、InP基板上に欠陥を生じることなくGaInNAs層を成長できることが判った旨記載されているが、素子特性として具体的にどのような臨界的意義が存在するかは記載されていないから、各半導体層の成長条件とは関係がない「物」の発明や、成長条件が記載されていない「製造方法」の発明について、GaやNの組成の数値限定に臨界的意義は認められない。

## 請求の範囲 4

請求の範囲4に記載された発明は、国際調査報告で引用された文献1-5より進歩性を有しない。

文献4の段落番号【0007】、文献5の段落番号【0089】には、InAsNと同様の材料として、InSbNが記載されているから、文献1に記載された井戸層の材料であるInAsNに代えて、文献4、5に記載されたInSbNを用いることは、所望の量子井戸特性を得るために、当業者が容易に想到し得るものと認められる。

## 請求の範囲 6-14, 18

請求の範囲6-14, 18に係る発明は、国際調査報告で引用されたいずれの文献にも開示されておらず、新規性を有する。また、国際調査報告で引用されたいずれの文献に対しても進歩性を有する。

文献1-5のいずれにも、InP基板上に形成したヘテロ電界効果トランジスタにおいて、第1のチャネル層をGaInNAs、第2のチャネル層をInAs層で構成することは開示されていない。しかもその点は当業者といえども容易に想到し得ないものである。

## 請求の範囲 15

請求の範囲15に記載された発明は、国際調査報告で引用された文献1-3より進歩性を有しない。

文献2の段落番号【0004】には、InP基板上にInGaAsよりなる電子走行層と、InAlAsよりなる電子供給層とによりHEMTが形成されることが記載されている。

そうすると、文献2に記載された発明のInGaAs電子走行層に代えて、所望の素子特性を得るために、文献1、文献2の段落番号【0007】-【0008】、文献3の段落番号【0038】に記載されたようなInAsNやGaInAsNを用いることは、当業者が容易に想到し得るものと認められる。また、InAsNのN組成や、GaInAsNのGa組成やN組成、電子走行層と電子供給層との間にどのようなスペーサ層を設けるかは、所望の素子特性を得るために、当業者が適宜選択し得る設計的事項に過ぎない。

なお、GaとNの組成の数値限定については、既に検討したように、臨界的意義は認められない。